

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Зражевська Наталія Григорівна



УДК 303.732.4:519.6

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ МІР ДИНАМІЧНИХ ФОНДОВИХ
РИЗИКІВ**

Спеціальність 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі математичних методів системного аналізу Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Науковий керівник: Чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, професор
Панкратова Наталія Дмитрівна,
 Національний технічний університет України
 “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”,
 заступник директора з наукової роботи ІПСА

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Міхайленко Віктор Мефодійович,
 Київський національний університет будівництва і архітектури
 МОН України,
 зав. кафедри інформаційних технологій проектування та
 прикладної математики
 кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Андрійчук Олег Валентинович,
 Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії
 наук України

Захист відбудеться 16 жовтня 2018 о 15 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03 при Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, м. Київ - 56, пр. Перемоги, 37, корп. №35, ауд. 001

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, м. Київ - 56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано 2018 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03

д.ф.-м.н., професор

В. Капустян

В.О. Капустян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки у зв'язку зі стрімким розвитком обчислювальної техніки та інформаційних технологій все більшої популярності набуває застосування методів моделювання і прогнозування часових рядів в різних галузях практичної діяльності та теоретичних дослідженнях, зокрема у фінансовій діяльності людини. Важливим застосуванням для теорії фінансових часових рядів є теорія ризиків.

Проблема вимірювання ризику - одна з найважливіших та найскладніших проблем, з якою стикаються статистици, економісти, фінансисти. Необхідність оцінити можливі збитки і спрогнозувати розмір резервного капіталу, необхідний для стабільного функціонування фінансового інституту, привели до появи поняття міри ризику. З 90-х років XX століття VaR (Value at Risk) і CVaR (Conditional Value at Risk) є найбільш популярними мірами, що використовуються фахівцями для оцінювання, перш за все, ризиків можливих втрат на ринку цінних паперів. Існує досить великий обсяг робіт, присвячених методам оцінювання і прогнозування цих мір ризиків. Так проблеми моделювання і прогнозування VaR розглянуто в роботах П. Джоріона, К. Дауда, А. Дж. Мак-Ніла, Р. Фрейя, П. Ембрехца, Р. Кауфманна та ін. Серед авторів робіт, присвячених CVaR, слід відзначити роботи П. Артцнера, Ф. Дельбаена, Д. Хіта, Р. Т. Рокфеллера, С. П. Урясьєва, С. Ацербі; Д. Таше, С. Надараджа, Бо Чжана. Активний розвиток методів оцінювання мір ризику привели до необхідності їхньої класифікації та систематизації методами системного аналізу. Водночас на сьогодні існує проблема недостатньо розробленого математичного апарату для розв'язання задач, що пов'язані з оцінюванням мір ризику VaR і CVaR. Зокрема, це стосується проблеми оцінювання мір ризиків для волатильних фінансових рядів із властивістю сильної залежності, що ускладнює застосування класичних методів. При побудові моделі прогнозування важливо в теоретичному та практичному плані найбільш повно враховувати особливості походження вхідних даних та кінцеву мету з точки зору як якісного, так і кількісного аналізу результатів. Зокрема, процес вибору моделі має максимально повно враховувати всю апіорну інформацію, яка надходить із різних джерел, таких як статистичний аналіз даних, економічні та економетричні закони, досвід фахівців в різних галузях суміжних задач. Велике різноманіття сучасних моделей, що описують волатильні часові ряди та їх похідні (зокрема, динамічні міри ризику), зазвичай використовують лише частину наявної апіорної інформації. Це приводить до необхідності систематизації моделей по можливостям їх застосування до різних задач. Крім цього, актуальним є адаптація старих моделей та створення нових для максимально повного врахування апіорної інформації.

Таким чином, незважаючи на значний обсяг робіт, присвячених мірам ризику VaR і CVaR, та значні досягнення у розвитку як теоретичних, так і практичних її аспектів, існує ряд проблем, що потребують вирішення. Ці проблеми пов'язані із необхідністю систематизації та класифікації вже наявних та побудови нових методів оцінювання та прогнозування мір ризику, які здатні більш досконало враховувати особливості вхідних даних, а, отже, отримувати більш якісні прогнозні значення. Це аргументує актуальність досліджень, проведених у роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Інституті прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (ІПСА) відповідно до планів наступних науково-дослідних тем:

- «Розробка комплексної системи забезпечення безпеки та живучості функціонування складних технічних систем в реальному режимі часу», № держреєстрації 0115U000357;
- «Розробка інструментарію діагностування гарантованого функціонування складних технічних систем в умовах невизначеностей та дестабілізуючих факторів ризику», номер державної реєстрації 0117U004281.

Метою дослідження є розробка моделей, методів оцінювання та прогнозування мір динамічних ризиків VaR та CVaR з метою підвищення якості прогнозування ризиків втрат на фондових ринках, що описуються волатильними часовими рядами із сильною залежністю.

Для досягнення мети дослідження поставлені й розв'язані такі **задачі**:

- розроблено новий метод визначення параметру Херста на основі оптимізаційної процедури;
- запропоновано модель оптимізаційного згладжування автокореляційної функції (АКФ) часових рядів, яка найкращим чином відображає поведінку функції для великих значень аргументу і дозволяє отримати якісний прогноз автокореляції;
- розроблено новий метод моделювання і прогнозування дисперсії часових рядів із врахуванням сильної залежності на основі моделі FIGARCH;
- запропоновано класифікаційні та структурно-ієрархічні схеми вибору методу оцінювання мір статичних і динамічних ризиків VaR і CVaR;
- розроблено новий метод моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR на основі моделі FIGARCH – метод згладжування автокореляційної функції (МЗАКФ);

на основі запропонованого системного підходу розв'язано низку прикладних задач моделювання та прогнозування мір ризику для волатильних часових рядів логарифмічної дохідності індексів різних фондових бірж.

Об'єктом дослідження є процеси аналізу та оцінювання фондового ринку.

Предмет дослідження – статистичні методи та моделі для аналізу часових рядів із сильною залежністю, методи оцінювання мір статичних ризиків VaR та CVaR, методи оцінювання та прогнозування мір динамічних ризиків VaR та CVaR, методи оптимізації.

Методи дослідження – методи системного аналізу, статистичні методи аналізу часових рядів, теорія ризиків, теорія прийняття рішень, теорія лінійного і нелінійного оцінювання.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі проведених у дисертаційній роботі досліджень запропоновано системний підхід до моделювання й прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR. Наукова новизна роботи визначається наступними теоретичними і практичними результатами, отриманими автором:

Вперше:

- запропоновано метод моделювання АКФ часового ряду на основі оптимізаційної процедури, що на відміну від наявних дозволяє більш точно змодельовати поведінку АКФ для великих значень аргументу - оптимізаційний метод згладжування АКФ;
- розроблено метод моделювання і прогнозування дисперсії часового ряду на основі моделі FIGARCH, який більш якісно і з меншим запізненням, в порівнянні з іншими методами, визначає екстремальні значення ряду. Метод включає зведення моделі FIGARCH до авторегресійної моделі нескінченного порядку для квадратів процесу з наступним редукуванням. Коефіцієнти авторегресії знаходяться з використанням запропонованої моделі АКФ;
- розроблено метод моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR на основі моделі FIGARCH з використанням оптимізаційної процедури – метод згладжування автокореляційної функції (МЗАКФ), який, на відміну від наявних, дозволяє отримати більш точний прогноз для широкого кола фінансових рядів, що мають різну волатильність. Точність прогнозу підтверджено порівняльним аналізом прогнозних оцінок з реальними даними. Для зручності користування метод сформульовано у вигляді покрокового алгоритму.

Набуло подальшого розвитку:

- методи оцінювання параметра сильної залежності параметра Херста.

Удосконалено:

- класифікацію методів оцінювання мір статичних і динамічних ризиків VaR і CVaR, що найбільш повно охоплює існуючі сучасні методи;
- формалізацію процесу вибору методу оцінювання мір статичних і динамічних ризиків VaR і CVaR.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні формалізованої, теоретично обґрунтованої методики та комплексу програмних модулів, що реалізують запропонований системний підхід до розв’язання задачі моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR, які є одними з найбільш популярних мір для вимірювання ризиків фінансових інструментів. Запропоновані в рамках підходу класифікаційні схеми оцінювання та системи прийняття рішення щодо вибору методу оцінювання VaR та CVaR статичних і динамічних ризиків є корисними для фінансових аналітиків при виборі методу

оцінювання різних ризиків по значеннях часових рядів з характеристиками в широкому діапазоні значень. Сформульований у вигляді алгоритму новий метод прогнозування мір динамічних ризиків VaR та CVaR МЗАКФ дає можливість отримати якісні прогнозні значення для різних ринкових ризиків. Тестування та демонстрацію використання системного підходу в роботі проведено на значеннях індексів фондових бірж, але з такою ж ефективністю він може бути застосований в задачах оцінювання процентних, валютних та товарних ризиків. Запропонований у роботі метод прогнозування дисперсії часових рядів суттєво спрощує побудову моделей гетероскедастичних процесів в усіх областях, де використовується теорія часових рядів. Зібрані та проаналізовані в роботі сучасні методи оцінювання мір ризиків VaR та CVaR, якісні та кількісні тести, моделі гетероскедастичних процесів та методи їх побудови в поєднанні з класифікаційними схемами, огляд літературних джерел є корисними як методичний матеріал при написанні курсових та дипломних робіт, а також при складанні лекційних курсів з теорії ризиків.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри "Математичні методи системного аналізу" Інституту прикладного системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського та при виконанні сумісних проектів NewGround LLC Ukraine з American Optimal Decisions, Inc., пов'язаних з оптимізацією діяльності фондових ринків, що підтверджено актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати, що складають основний зміст роботи та становлять наукову новизну, отримані автором особисто. Зокрема, розроблено, теоретично обґрунтовано та чисельно апробовано метод моделювання і прогнозування дисперсії волатильних часових рядів з врахуванням сильної залежності. З використанням методології системного аналізу проведені класифікації сучасних методів обчислення і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR, сформульовані структурно-ієрархічні схеми вибору методу їх оцінювання. У працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: у праці [1] математичне обґрунтування і чисельна апробація методу для моделювання АКФ на основі оптимізаційної процедури, у праці [3] здобувачем виконана побудова процедури прийняття рішення щодо вибору методу оцінювання статичних мір ризику, формалізація і чисельна апробація класифікаційної схеми оцінювання VaR та CVaR, у праці [5] запропоновано формалізацію, математичне обґрунтування і чисельну апробацію методу моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків МЗАКФ, у праці [6] здійснено чисельну реалізацію МЗАКФ та аналіз результатів прогнозування для рядів різної волатильності.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати доповідались на семінарах та наукових конференціях:

- міжнародних наукових конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» SAIT (м. Київ, 2014 – 2017 рр);
- міжнародних наукових конференціях ім. академіка М. Кравчука (м. Київ, 2015, 2016);

- міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» ІТЕП-2015 (м. Чернівці, 2015);
- міжнародній науковій конференції “Risk Management Approaches in Engineering Applications”, (Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida, USA, 2015);
- всеукраїнській науково-практичній конференції за міжнародною участю «Інформатика та системні науки» (м. Полтава, 2016);
- науковому семінарі при Навчально-науковому комплексі “Інститут прикладного системного аналізу” КПІ ім. Ігоря Сікорського (Київ, 2017).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 15 наукових працях, серед них 6 статей у наукових фахових виданнях (4 статті у виданнях іноземних держав, 2 статті у виданнях України, що включено до міжнародних наукометричних баз даних), 9 тез у матеріалах доповідей міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, переліку умовних позначень, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох додатків. Робота викладена на 179 сторінках і містить 139 сторінок основної частини, 20 рисунків, 30 таблиць і список використаних джерел із 148 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність розробки системного підходу до проблеми моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR із застосуванням теорії часових рядів; визначені мета, об’єкт, предмет і методи дослідження; показано зв’язок з науковими програмами, планами; наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, висвітлено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** наведено огляд літератури за тематикою даної роботи та спорідненими питаннями; висвітлені результати щодо схожих проблем, які були отримані іншими авторами. Зокрема, наведено огляд літератури по теорії часових рядів, що використовується при моделюванні мір ризиків. Особлива увага надана моделям часових рядів, що описують волатильні ряди із властивістю сильної залежності. Проаналізовано також роботи, в яких пропонуються, аналізуються і застосовуються методи оцінювання параметра сильної залежності - параметра Херста. В розділі проводиться огляд наукових результатів, що стосуються визначення, властивостей, методів оцінювання, моделювання та прогнозування мір ризиків VaR і CVaR. Як впливає з проведеного огляду, значний інтерес до оцінювання мір ризиків призвів до появи достатньо великої кількості наукових методів, що викликає необхідність їхньої систематизації і класифікації методами системного аналізу. Важливою залишається і проблема розробок нових, більш

досконалих методів моделювання і прогнозування, що найбільш повно враховують вхідні дані. Отже, проведений огляд сучасної літератури на тему дисертації дозволяє аргументувати актуальність та практичну важливість проведених у роботі досліджень.

У **другому розділі** наведено математичний апарат, що використовується при моделюванні мір ризиків VaR і CVaR із застосуванням теорії часових рядів. Оскільки фінансові часові ряди, як правило, є волатильними, у розділі проаналізовано відомі моделі класу GARCH, зокрема, модель FIGARCH, що враховує властивість сильної залежності. Показано, що модель FIGARCH може бути зведена до авторегресійної моделі нескінченного порядку для квадратів процесу. У розділі детально проаналізовані класичні методи оцінювання параметра Херста як міри сильної залежності, вказано їх переваги і недоліки.

Системний підхід до розв'язання проблеми моделювання і прогнозування мір ризиків VaR і CVaR вимагає детального аналізу існуючих методів їх знаходження. У розділі проведено аналіз із зазначенням переваг і недоліків методів оцінювання мір статичних ризиків, що використовують емпіричну функцію розподілу (метод історичного моделювання HS і його модифікації), функції відомого типу розподілу аналітичного виду (нормального розподілу, розподілу Стюдента). Розглянуто методику Монте-Карло, непараметричні методи (ядерний метод і метод емпіричних квантилів), методи оцінювання з використанням теорії екстремальних значень (з використанням функції розподілу узагальнених екстремальних значень GEV і функції узагальненого розподілу Парето GPD), розглянуто оптимізаційний метод Рокфеллера - Урясьєва. Серед існуючих методів моделювання мір динамічних ризиків особлива увага у роботі надана методам на основі моделі стохастичного процесу. Три популярні моделі оцінювання мір динамічних ризиків, що дають явні формули для знаходження VaR і CVaR - модель випадкового блукання ("RandomWalk" model), RM-модель (Riskmetrics model) і модель на основі GARCH(1,1) - проаналізовано у роботі, дано рекомендації по їх застосуванню, вказано переваги і недоліки. Також проаналізовано непараметричні методи моделювання мір динамічних ризиків - регресійні методи (метод квантильної регресії і авторегресійні VaR - моделі). Даний розділ пропонує опис основних тестів, які можуть бути застосовані для аналізу якості отриманих оцінок. Для аналізу, чи є випадкові величини незалежними і однаково розподіленими (iid-tests), розглядаються критерій відношення дисперсій і BDS-тест, тест Дієболда-Маріано для порівняння якості прогнозів часового ряду для двох прогнозних моделей, тести Купеца і Кристофферсена для аналізу якості прогнозних оцінок VaR, V - тест для аналізу якості прогнозних оцінок CVaR.

Третій розділ присвячено розробці методологічного та математичного забезпечення системного підходу до побудови прогнозних оцінок мір динамічних ризиків VaR і CVaR на основі теорії часових рядів. Структурна схема підходу наведена на рис.1.

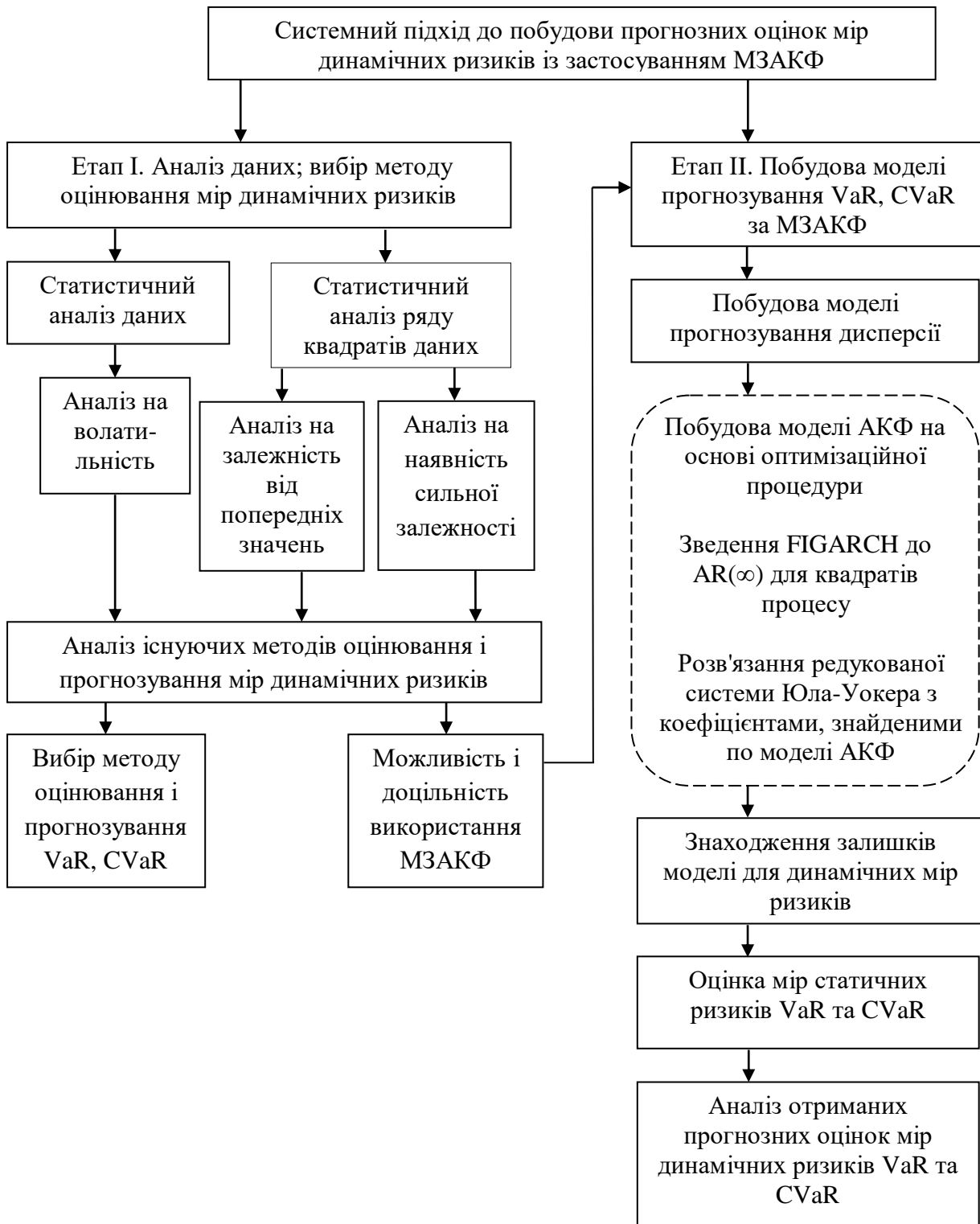


Рис.1. Структурна схема системного підходу до побудови прогнозних оцінок мір динамічних ризиків із застосуванням МЗАКФ

Системний підхід складається з двох основних етапів. На *першому етапі* відбувається вибір методу моделювання мір динамічних ризиків, що найкраще відповідає вхідним даним. Для полегшення процесу вибору, базуючись на аналізі методів, проведеному в другому розділі, у роботі запропоновано класифікаційну схему оцінювання мір динамічних ризиків VaR і CVaR (рис.2).

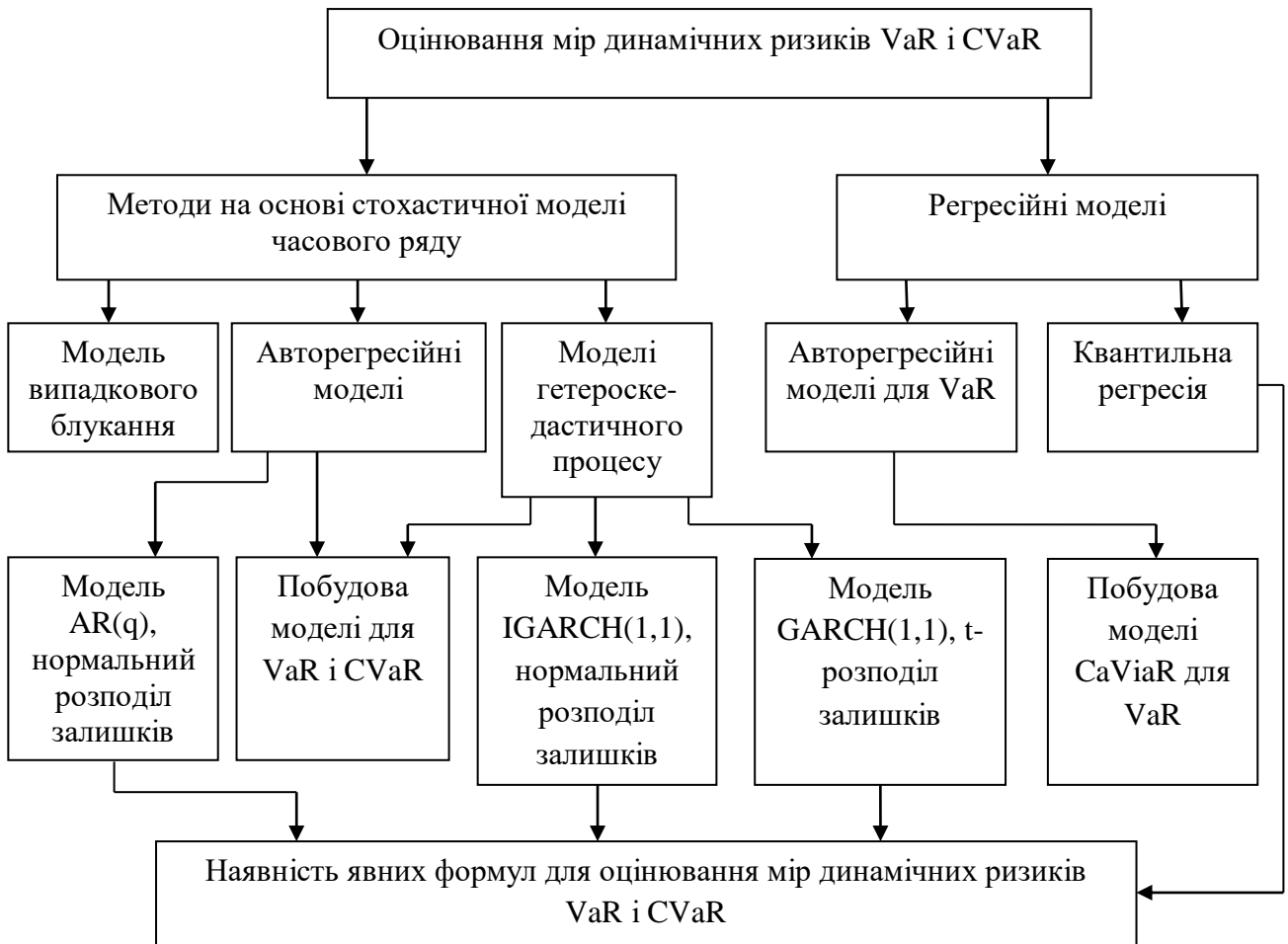


Рис.2. Класифікаційна схема оцінювання мір динамічних ризиків VaR і CVaR

Структурна схема вибору методу оцінювання мір динамічних ризиків VaR і CVaR, що запропонована в роботі, наведена на рис.3.

В разі, якщо аналіз даних підтверджує волатильність часового ряду і властивість сильної залежності його квадратів, на *другому етапі* системного підходу запропоновано новий метод прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR з урахуванням сильної залежності - МЗАКФ.

Розглядається часовий ряд $\{X_t, t=1, \dots, N\}$ із скінченним середнім, який задається своїми спостереженнями у відповідні моменти часу.

Вважається, що часовий ряд $\{X_t^2, t \in T\}$ є слабо стаціонарним з властивістю сильної залежності. Для моделювання часового ряду з метою врахування властивості сильної залежності використовується модель FIGARCH(p,d,q):

$$X_t = \mu + \varepsilon_t = \mu + \sigma_t Z_t, \quad (1 - \beta(L))\sigma_t^2 = \omega + (1 - \beta(L) - \phi(L)(1 - L)^d)\varepsilon_t^2,$$

де μ середнє, σ_t^2 умовна дисперсія, задана на інформаційній множині F_t , що містить всю відому на момент часу t інформацію про ряд, Z_t незалежні, однаково

розподілені випадкові величини з середнім 0 і дисперсією 1, $LX_t = X_{t-1}$,
 $\alpha(L) = \sum_{i=1}^q a_i L^i$, $\beta(L) = \sum_{j=1}^p b_j L^j$, $\varphi(L) \equiv (1 - \alpha(L) - \beta(L))(1 - L)^{-1}$,
 $(1 - L)^d = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\Gamma(j-d)}{\Gamma(-d)\Gamma(j+1)} (-L)^j$ - оператор дробової різниці, ($\Gamma(\cdot)$ -гамма функція),
 $d \in (0, 1/2)$; $\omega > 0$; $a_i \geq 0, i=1,2,\dots,q$; $b_j \geq 0, j=1,2,\dots,p$; $\sum_{i=1}^q a_i + \sum_{j=1}^p b_j < 1$.

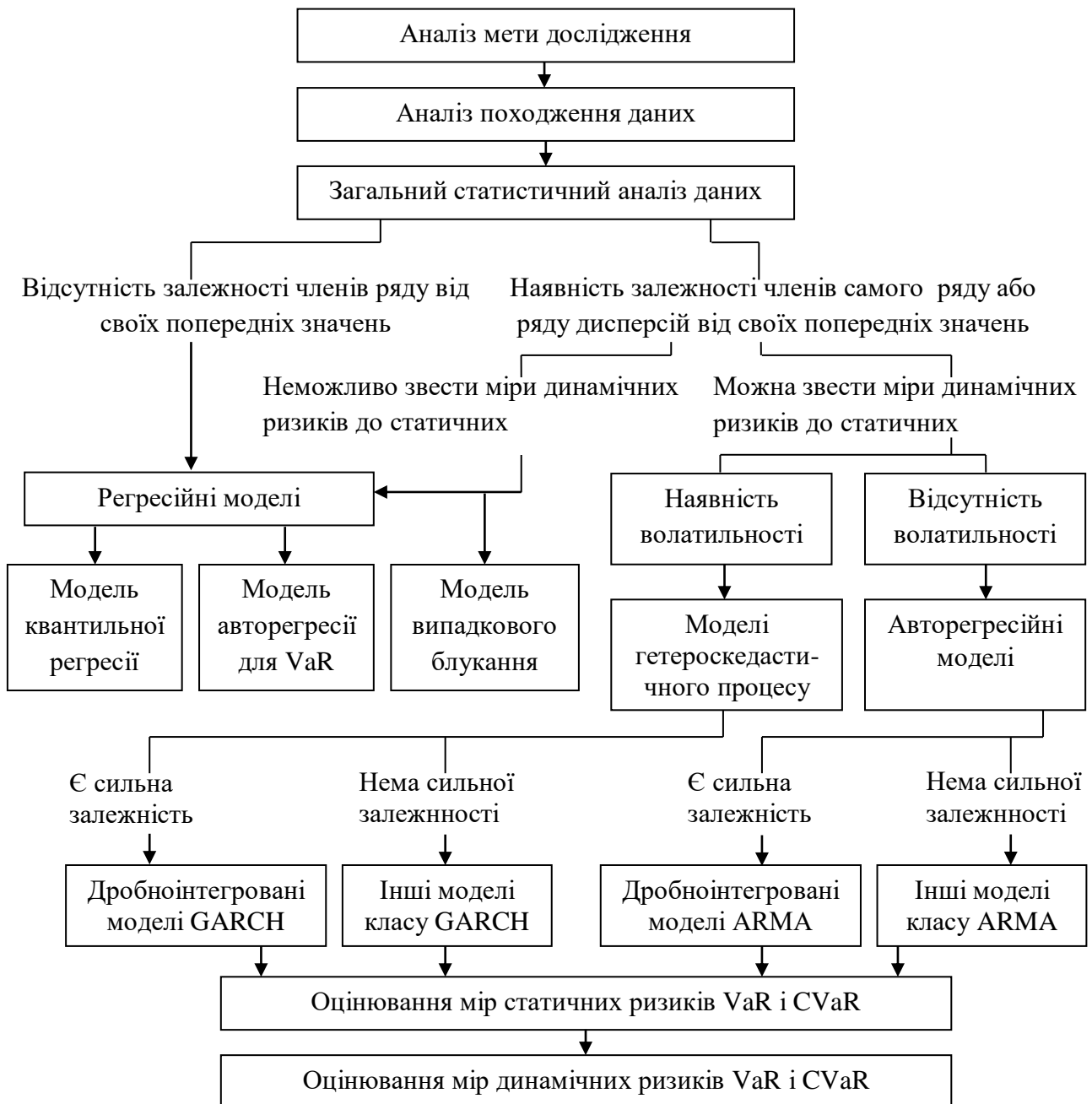


Рис. 3. Структурна схема вибору методу оцінювання мір динамічних ризиків

Після видалення тренду з ряду даних, модель для мір ризику може бути записана у вигляді:

$$VaR_{\alpha}^t = VaR_{\alpha}(Z)\sigma_t, CVaR_{\alpha}^t = CVaR_{\alpha}(Z)\sigma_t. \quad (1)$$

де Z випадкова величина, що має такий самий розподіл, що і будь-яка величина із множини $\{Z_t\}$. Прогнозні значення на P кроків можна отримати за екстраполяцією моделі:

$$VaR_{\alpha}^{t+P} = VaR_{\alpha}(Z)\sigma_{t+P}, CVaR_{\alpha}^{t+P} = CVaR_{\alpha}(Z)\sigma_{t+P}. \quad (2)$$

Для зручності використання МЗАКФ сформульовано у вигляді наступного алгоритму.

Алгоритм МЗАКФ

Крок 1. Перевірка даних на волатильність.

Крок 2. Побудова часового ряду квадратів (ЧРК). Аналіз залежності членів ряду від своїх попередніх значень. Аналіз властивості сильної залежності для ЧРК: знаходження параметра Херста $\hat{H}_i, i = 1, \dots, I$ класичними методами.

Крок 3. Моделювання АКФ на основі оптимізаційної процедури з врахуванням сильної залежності з метою покращення точності значень АКФ для великих лагів.

Для отримання оцінок АКФ ρ_k у роботі розглядаються 3 моделі.

Модель I впливає безпосередньо з означення сильної залежності в подвійному логарифмічному масштабі: $\ln \rho_k = b_1 + b_2 \ln k + \varepsilon_k$, ε_k -iid, $k_0 \leq k \leq N$, параметри моделі b_1, b_2 оцінюються за методом найменших квадратів (МНК).

Модель II впливає безпосередньо з означення сильної залежності із врахуванням значення параметра Херста:

$$\rho_k = \gamma_1 H(2H-1)k^{2H-2} + \gamma_2 + \varepsilon_k, \varepsilon_k \text{ -iid} \quad (3)$$

За моделлю II отримуємо оцінки: $\tilde{\rho}_k = \tilde{\gamma}_1 \hat{H}_{mn}(2\hat{H}_{mn}-1)k^{2\hat{H}_{mn}-2} + \tilde{\gamma}_2$, $k_0 \leq k \leq N$, де

$$\hat{H}_{mn} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \hat{H}_i, \tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2 \text{ оцінюються за МНК.}$$

Модель III представляє новий метод моделювання АКФ на основі оптимізаційної процедури - **оптимізаційний метод згладжування АКФ**. Для побудови задачі оптимізації фактичні дані розбиваються на "in-sample" ($k = k_0, \dots, k_1$) і "out-of-sample" ($k = k_1 + 1, \dots, k_2$). На "in-sample" значення моделі, розраховані по (3), порівнюються зі значеннями АКФ, знайденими по вибірці так, щоб квадрати залишків були близькі до середніх квадратів залишків для Моделі II і не перевищували їх з точністю до релаксаційного параметра q - обмеження (5). На "out-of-sample" мінімізується середньоквадратична помилка моделі, одночасно з q ((4)),

що забезпечує як оптимальність моделі на "out-of-sample", так і її близькість до Моделі II на "in-sample". Параметр $\lambda \in [0, 1]$ - коефіцієнт штрафу, що забезпечує можливість досягнення оптимального співвідношення похибок на інтервалах "in-sample" і "out-of-sample". Формально, оптимізаційна задача може бути записана у вигляді:

$$\lambda q + (1 - \lambda) \frac{1}{k_2 - k_1} \sum_{k=k_1+1}^{k_2} (\rho_k - \tilde{\rho}_k)^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

$$(\rho_k - \tilde{\rho}_k)^2 \leq \varepsilon^2 + q, \quad k = k_0, \dots, k_1 \quad (5)$$

$$q \geq 0 \quad (6)$$

За Моделлю III уточнюється параметр Херста \hat{H}_{opt} і знаходяться оцінки:

$\hat{\rho}_k = \hat{\gamma}_1 \hat{H}_{opt} (2\hat{H}_{opt} - 1) k^{2\hat{H}_{opt}-2} + \hat{\gamma}_2$, $k_1 + 1 \leq k \leq k_2$. Проводиться їх кількісний аналіз (ME, MAE, MSE).

Крок 4. Моделювання і прогнозування дисперсії часового ряду на основі моделі FIGARCH з використанням оптимізаційної процедури.

Враховуючи, що $v_t = \varepsilon_t^2 - \sigma_t^2$ некорельовані з середнім 0, FIGARCH(p,d,q) записується як модель AR(∞) для квадратів процесу ε_t^2 :

$$\varepsilon_t^2 = (1 - \beta(1))^{-1} \omega + \lambda(L) \varepsilon_t^2 + v_t,$$

де $\lambda(L) \equiv 1 - (1 - \beta(1))^{-1} \varphi(L)(1 - L)^d = \lambda_1 L + \lambda_2 L^2 + \lambda_3 L^3 + \dots$, або $\varepsilon_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + v_t$.

Для знаходження оцінок коефіцієнтів авторегресії $(\alpha_1, \dots, \alpha_K, \dots)'$ треба знайти розв'язок нескінченної системи Юла-Уокера: $\sum_{j=1}^{\infty} \rho_{|i-j|} \alpha_j = \rho_i$, $i = 1, \dots, \infty$. Враховуючи

асимптотичну поведінку АКФ в силу сильної залежності, можна знайти наближений розв'язок редукованої системи $\sum_{j=1}^K \hat{\rho}_{|i-j|} \alpha_j = \hat{\rho}_i$, $i = 1, \dots, K$, який буде збігатися до

точного при $K \rightarrow \infty$, де оцінки $\hat{\rho}_i$ для $i = 1, \dots, k_1$ отримано за вибіркою, для $i = k_1 + 1, \dots, K - 1$ за Моделлю III, $\hat{\rho}_K$ по екстраполяції цієї моделі $\hat{\rho}(K) = \hat{\gamma}_1 \hat{H}_{opt} (2\hat{H}_{opt} - 1) (K)^{2\hat{H}_{opt}-2} + \hat{\gamma}_2$. Розв'язком системи є оцінки $\vec{\hat{\alpha}} = (\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_K)'$.

Визначення порядку авторегресії AR(M) ($M \leq K$) здійснюється з використанням інформаційних критеріїв АІК (інформаційний критерій Акаїке), HQS (інформаційний критерій Хеннена-Куїна), SBIC (інформаційний критерій Байєса). Побудована модель АКФ використовується для знаходження оцінок дисперсії:

$$\hat{\sigma}_t^2 = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^M \hat{a}_i \hat{\sigma}_{t-i}^2, \quad t = 1, \dots, N + 1 \text{ і прогнозних оцінок дисперсії: } \hat{\sigma}_{t+1}^2 = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^M \hat{a}_i \hat{\sigma}_{t+1-i}^2,$$

$t = N + 1, \dots$ Використовуючи процедуру бектестінгу, здійснюється кількісний і якісний аналізи отриманих прогнозних оцінок.

Крок 5. Оцінювання мір статичних ризиків.

Отримані на Кроці 4 оцінки дисперсії використовуються для знаходження Z_t : $Z_t = X_t / \sigma_t$. Перевіряючи приналежність Z_t класу iid і провівши їх загальний статистичний аналіз, вибирається відповідний метод оцінювання мір статичних ризиків $VaR_\alpha(Z)$ і $CVaR_\alpha(Z)$. На підставі аналізу методів, проведеного в розділі 2, у роботі запропоновано класифікаційну схему методів оцінювання (рис.4).

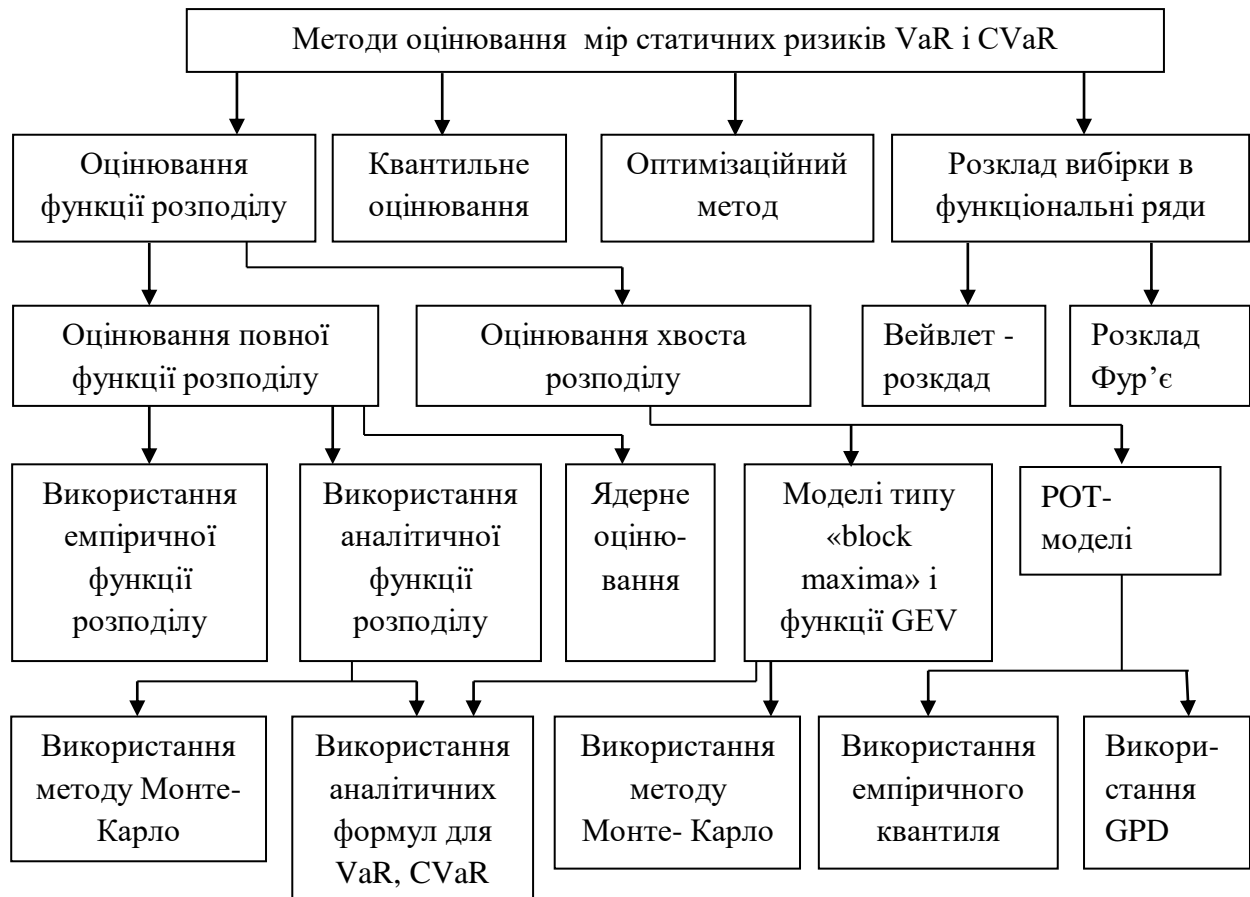


Рис.4. Класифікаційна схема оцінювання мір статичних ризиків VaR і CVaR

Для полегшення процесу вибору методу оцінювання мір статичних ризиків у роботі запропонована структурна схема прийняття рішення (рис.5).

Крок 6. Оцінювання і прогнозування мір динамічних ризиків.

З використанням результатів Кроків 4 і 5 будуються оцінки мір динамічних ризиків $VaR_\alpha^t = VaR_\alpha(Z)\sigma_t$, $CVaR_\alpha^t = CVaR_\alpha(Z)\sigma_t$.

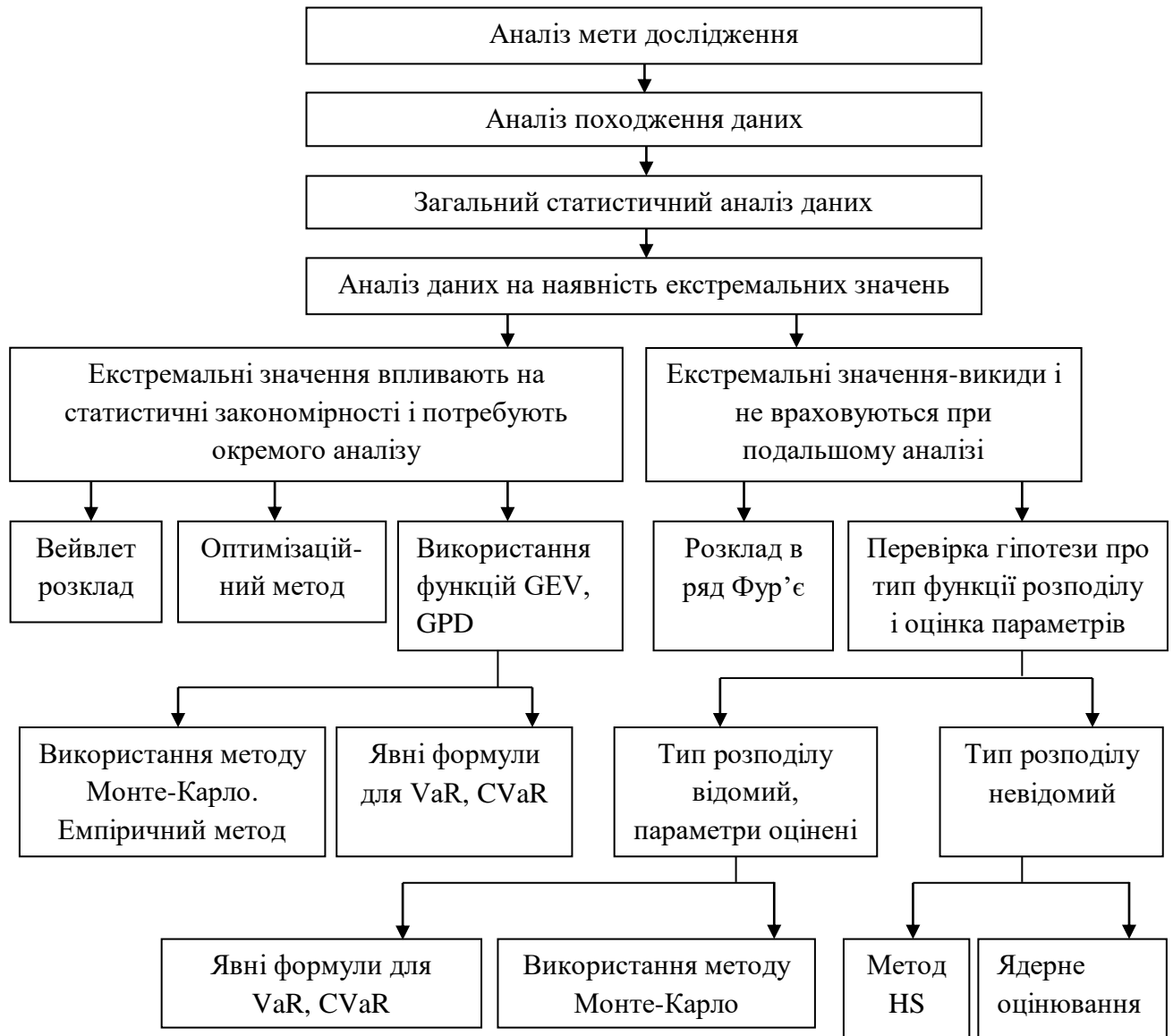


Рис 5. Процедура прийняття рішення щодо вибору методу оцінювання мір статичних ризиків VaR і CVaR.

Побудована модель мір динамічних ризиків використовується для отримання прогнозних значень VaR_{α}^{t+P} , $CVaR_{\alpha}^{t+P}$ за виразами (2). Метод побудови прогнозу - прямий, багатокроковий на P кроків вперед, вікно з накопиченням. Для побудови прогнозу на вікні прогнозування використовуються прогнозні оцінки дисперсії (Крок 4), значення мір статичних ризиків вважаються незмінними на вікні прогнозування (Крок 5). Потім значення індексу часового ряду збільшується на P і процедура повторюється необхідну кількість разів. Таким чином, на кожному кроці застосування алгоритму відбувається врахування нових даних і уточнення моделі. Отримані P -крокові прогнози об'єднуються в один, здійснюється аналіз отриманих оцінок: кількісний аналіз (знаходження похибок ME, MAE, MSE) і якісний аналіз (статистика РоЕ, тести Купеця, Кристофферсена, V -тест).

У четвертому розділі роботи приведена практична реалізація запропонованого системного підходу до побудови прогнозних значень мір ризиків VaR і CVaR на основі теорії часових рядів. Всі етапи системного підходу було апробовано на штучно змодельованих і реальних часових рядах логарифмічної дохідності індексів різних фондових бірж.

Для демонстрації застосування схеми вибору методу оцінювання мір динамічних ризиків (рис. 2, 3) знайдено оцінки VaR і CVaR для часових рядів логарифмічної дохідності на денній основі двох азіатських фондових індексів за період з 2005 по 2015 роки - Nikkey 225 Stock Index (часовий ряд N225) та Tokyo Stock Exchange. Апробація схем вибору методу оцінювання статичних мір ризиків VaR і CVaR (рис. 4, 5) проведена на штучно змодельованих, відповідно до законів Гауса і Стюдента, даних. Показано, що запропоновані схеми дозволяють однозначно і ефективно вибрати методи оцінювання мір динамічних і статичних ризиків, що найкраще відповідають статистичним характеристикам вхідних даних.

Оптимізаційний метод згладжування АКФ та прогнозування дисперсії часового ряду по запропонованому у роботі методі на основі моделі FIGARCH було апробовано на часовому ряді даних індексу фондової біржі "Российская Торговая Система" за період з 2005 по 2015 роки. Проведений кількісний і якісний аналізи отриманих оцінок підтвердили ефективність запропонованих у роботі методів.

Побудова прогнозних оцінок мір ризиків за МЗАКФ була виконана для часового ряду N225. Довірчий рівень мір ризиків вибирався рівним $\alpha = 0.9$. Для побудови прогнозу застосовувалася процедура бектестінгу, вікно з накопиченням, довжина першого вікна - 843 значення, $P = 5$.

Проведений аналіз ряду даних підтвердив його волатильність. Оцінювання п'ятьма класичними методами параметра Херста для ЧРК засвідчило наявність властивості сильної залежності: середнє отриманих значень $\hat{H}_{mn} = 0.7387$. Для моделювання АКФ було застосовано три моделі (Крок 3 алгоритму МЗАКФ). Аналіз результатів показав, що Модель III краще відображає поведінку АКФ для великих значень аргументу, оцінки, отримані за цією моделлю, мають найменше відхилення від вибірових коефіцієнтів автокореляції.

Для моделювання і прогнозування дисперсії було застосовано два методи: запропонований в роботі метод на основі моделі FIGARCH з використанням оптимізаційної процедури (Крок 4 алгоритму МЗАКФ) - новий метод, і, для порівняння, стандартний метод на основі моделі авторегресії AR(55) в припущенні нормального розподілу залишків моделі. Аналіз результатів прогнозування дисперсії дозволяє зробити висновки: екстремальні значення, отримані за новим методом, істотно ближче до реальних, новий метод демонструє менше запізнення при визначенні екстремальних викидів. Високу якість отриманих прогнозних оцінок дисперсії за новим методом підтверджує і кількісний аналіз (похибки ME, MSE, MAE): оцінки, отримані по новому методу мають менше відхилення від реальних

значень дисперсії, ніж оцінки, отримані по стандартному методу. Результат тесту Дієболда-Маріано свідчить, що прогнози, отримані за обома методами, є подібними.

Отримані оцінки дисперсії було використано для знаходження залишків моделі: $Z_t = X_t / \sigma_t$ (Крок 5 алгоритму МЗАКФ). Критерій відношення дисперсій підтвердив приналежність Z_t до класу iid. Для оцінювання мір статичних ризиків VaR і CVaR було вибрано: метод історичного моделювання; емпіричний POT-метод; явні формули в припущенні нормального розподілу з оцінками параметрів, знайденими за методом максимальної правдоподібності (ММП); явні формули з використанням функцій *GEV* і *GPD*, параметри яких були оцінені за ММП. Аналіз оцінок $VaR_{0.9}(Z)$, $CVaR_{0.9}(Z)$, отриманих за МЗАКФ і стандартним методом, приводить до висновку, що розкид значень оцінок, отриманих за МЗАКФ менший, ніж для оцінок, отриманих стандартним методом. Побудовані прогнозні оцінки дисперсії і міри статичних ризиків використовуються для знаходження прогнозних оцінок мір динамічних ризиків $VaR_{0.9}^t$, $CVaR_{0.9}^t$ (2). Порівняння прогнозних значень з реальними даними дозволило зробити висновок: похибки прогнозів, побудованих за МЗАКФ, в основному менше похибок прогнозів, знайдених за стандартним методом. Похибка MSE прогнозних оцінок мір динамічних ризиків VaR у випадку припущення щодо нормального розподілу, отримана за МЗАКФ, на 20% менша за MSE, пораховану для відповідного стандартного метода. Аналогічна похибка для CVaR для МЗАКФ менша на 16.7%. Значення статистики PoE для прогнозних оцінок $VaR_{0.9}^t$ також підтвердили високу якість отриманих за МЗАКФ оцінок: відхилення α для МЗАКФ (0.84%) істотно менше за відхилення для стандартного методу (1.8%). Таким чином, МЗАКФ дав можливість отримати якісний прогноз для часового ряду, що відображає стабільну поведінку фондового ринку.

Запропонований у роботі системний підхід було застосовано для отримання прогнозних значень мір ризиків для часових рядів різної волатильності. В якості даних розглядалися три часових ряду логарифмічної дохідності на денній основі, отримані на основі індексу Nasdaq-100 (індекс NDX) за період 08.02.2005-11.02.2015: найбільш волатильний ряд NDX_1 (2575 значень) - всі значення індексу, ряд NDX_2 (2275 значень) - без значень індексу за період фінансової нестабільності 13.05.2008 – 22.07.2009 і найменш волатильний ряд NDX_3 (1975 значень) - без значень за періоди 13.05.2008 – 22.07.2009 і 22.02.2011 – 01.05.2012. Для отримання прогнозу мір динамічних ризиків використовувався МЗАКФ. Прогноз будувався на 5 кроків вперед, вікно з накопиченням. Для ряду NDX_1 розглядалося 256 вікон, для NDX_2 - 226, для NDX_3 - 196 вікон. Оцінки мір статичних ризиків отримано методами, які використовувалися для часового ряду N225. Проведений кількісний аналіз результатів (похибки ME, MSE, MAE) для мір статичних ризиків приводить до висновку, що різні методи дали різну якість оцінки. Так для найбільш волатильних рядів найменші похибки мають оцінки, отримані з використанням теорії EVT: з використанням функції GEV для NDX_1 і функції GPD для NDX_2 . Для

найменш волатильного NDX_3 кращі результати отримано з використанням методу історичного моделювання. Застосування цих методів дало і кращі прогнозні значення для мір динамічних ризиків, що підтверджено значеннями статистики РоЕ, тестами Купеця і Кристофферсена для спрогнозованих значень $VaR_{0.9}^t$, результатами V-тесту для $CVaR_{0.9}^t$. Узагальнюючи аналіз отриманих прогнозів, можна прийти до висновку, що системний підхід із застосуванням МЗАКФ дозволив отримати якісний прогноз мір динамічних ризиків для всіх трьох рядів з різною волатильністю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена проблема розробки системного підходу до моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR із застосуванням теорії часових рядів. Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведено системний аналіз наявних методів оцінювання мір статичних і динамічних ризиків VaR і CVaR. Результати аналізу сформульовані у вигляді класифікаційних схем, що спрощують вибір методу, який найбільше відповідає цілям аналізу і вхідним даним.
2. Розроблено метод моделювання автокореляційної функції на основі оптимізаційної процедури, що дозволяє найкращим чином відобразити поведінку автокореляційної функції для великих значень аргументу. Запропонована модель АКФ дозволяє отримати уточнену оцінку параметра сильної залежності.
3. Розроблено новий метод прогнозування дисперсії на основі моделі FIGARCH з використанням оптимізаційної процедури. Метод включає зведення моделі FIGARCH до авторегресійної моделі нескінченного порядку для квадратів процесу з наступним редукуванням за процедурою, що враховує відому асимптотичну поведінку автокореляційної функції. Коефіцієнти авторегресії знаходяться з використанням запропонованої моделі автокореляційної функції.
4. Розроблено та математично обґрунтовано новий метод згладжування автокореляційної функції (МЗАКФ) для моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків VaR і CVaR на основі моделі FIGARCH з використанням оптимізаційної процедури, оформлений у вигляді покрокового алгоритму.
5. На основі результатів, отриманих в даній роботі, створено комплекс програмних модулів, які реалізують методи та алгоритми оцінювання і прогнозування мір статичних і динамічних ризиків VaR і CVaR.

6. Застосовано розроблений системний підхід у вигляді моделей, методів та програмно-обчислювальних комплексів до вирішення практичних задач прогнозування мір динамічних ризиків на прикладах часових рядів, що описують показники індексів різних фондових бірж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. N. D. Pankratova, and **N. G. Zrazhevskaja**, “Model of Autocorrelative Function of Time Series with Strong Dependence”, *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 47, no. 10, pp. 1-12, 2015. (Входить до наукометричної бази ISI Thompson Science Citation Index, CAS, SCOPUS, PubMed, CrossRef та ін.). Дисертантом запропоновано формалізацію, математичне обґрунтування і чисельну апробацію методу для моделювання АКФ на основі регресійного рівняння, параметри якого знаходяться з використанням оптимізаційної процедури.
2. **Н.Г. Зражевська**, “Метод згладженої автокореляційної функції для прогнозування варіації гетероскедастичних часових рядів”, *Системні дослідження та інформаційні технології*, no.3. с. 97-108, 2015. (Входить до наукометричних баз DOAJ, Index Copernicus, РИНЦ та ін.)
3. **N. G. Zrazhevskaja**, and A. G. Zrazhevskij, “Classification of methods for risk measures VaR and CVaR calculation and estimation”, *Системні дослідження та інформаційні технології*, no.3. с. 118-125, 2016. (Входить до наукометричних баз DOAJ, Index Copernicus, РИНЦ та ін.). Дисертантом виконана побудова процедури прийняття рішення щодо вибору методу оцінювання статичних мір ризику, формалізація і чисельна апробація класифікаційної схеми оцінювання VaR та CVaR.
4. **N. Zrazhevskaja**, “Construction and application of the classification scheme of dynamic risk measures estimating”, *Eureka: Physics and Engineering*, no.5, pp. 67-80, 2016, DOI: 10.21303/2461-4262.2016.00162. (Входить до наукометричних баз Worldcat, JIF, DRJI, I2OR, SIS, GIF, ResearchBib, Index Copernicus, РИНЦ та ін.)
5. N. D. Pankratova, and **N. G. Zrazhevskaja**, “Method of dynamic VaR and CVaR risk measures forecasting for long range dependent time series on the base of the heteroscedastic model”, *Intelligent Control and Automation Journal*, vol. 8, no.2, pp. 126-138, 2017, doi: 10.4236/ica.2017.82010. (Входить до наукометричних баз Academic Journals Database, CrossRef, i-Solar, NSTL, Yale University Library, Worldcat та ін.). Дисертантом запропоновано формалізацію, математичне обґрунтування і чисельну апробацію методу моделювання і прогнозування мір динамічних ризиків МЗАКФ.
6. **N. Zrazhevskaja**, and A. Zrazhevsky, “Construction of prediction of dynamic risk measures var and cvar for financial time series with different volatility”. *European Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 13-22, 2017. (Входить до наукометричних баз Google Scholar, ROAD Directory of Open Access Scholarly Resources, UK, Cabells Directories та ін.). Дисертантом виконано чисельну реалізацію МЗАКФ та аналіз результатів прогнозування для рядів різної волатильності.

7. **Н.Г. Зражевська**, "Використання VAR та CVAR при моделюванні ризику в часових рядах", на *16-й Міжнарод. конф. SAIT*, Київ, 2014, с. 92.
8. **Н.Г. Зражевська**, "Дослідження на сильну залежність фінансових рядів, що описують індекси фондових ринків", на *XVI Міжнарод. наук. конф. ім. акад. М. Кравчука*, Київ, 2015, с. 30.
9. **Н.Г. Зражевська**, "Оптимізаційна модель для оцінювання параметрів Херста", на *17-й Міжнарод. конф. SAIT*, Київ, 2015, с. 71.
10. **Н.Г. Зражевська**, "Прогнозування фінансових часових рядів на основі моделі FIGARCH", на *Міжнарод. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» (ІТЕП-2015)*, Чернівці, 2015.
11. **Nataly Zrazhevskaya**, "Application of VaR and CVaR risk measures in the Financial Time Series Analysis," *Workshop: Risk Management Approaches in Engineering Applications*, 2015. [Online] Available: http://www.ise.ufl.edu/uryasev/conferences_seminars/workshop-the-fundamental-quadrangle-of-risk-in-optimization-and-estimation/.
12. **Н.Г.Зражевська**, "Моделювання динамічних мір ризику VaR і CVaR для часового ряду фондового індексу Nikkei 225", на *XVII Міжнарод. наук. конф. ім. акад. М. Кравчука*, Київ, 2016, с. 76-78.
13. **Н.Г.Зражевська**, "Оцінювання динамічних мір ризику VaR і CVaR для фондових індексів на основі гетероскедастичної моделі часового ряду", на *18-й Міжнарод.конф. SAIT*, Київ, 2016, с. 86.
14. **Н.Г.Зражевська**, "Структурна схема вибору методів оцінювання динамічних мір ризику VAR і CVAR", на *VII Всеукр. наук.-практ. конф.за міжнародною участю «Інформатика та системні науки»*, Полтава, 2016, с. 128.
15. **Н.Г.Зражевська**, "Моделювання і прогнозування мір ризику VaR і CVaR для часового ряду фондових індексів", на *19-й Міжнарод.конф. SAIT*, Київ, 2017, с. 163.

АНОТАЦІЯ

Зражевська Н.Г. Методи і моделі прогнозування мір динамічних фондових ризиків. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, 2018 р.

Дисертаційна робота полягає в розробці системного підходу до моделювання і прогнозування мір ризиків VaR і CVaR, які є найпоширенішими мірами, що використовуються при оцінюванні ризиків фондових бірж.

В рамках запропонованого підходу проведено системний аналіз сучасних методів оцінювання мір VaR і CVaR для статичних і динамічних ризиків, результати аналізу сформульовано у вигляді класифікаційних схем.

Для врахування властивостей волатильності та сильної залежності, що є характерними для фінансових рядів, для прогнозування VaR і CVaR запропоновано новий Метод Згладжування Автокореляційної Функції. Для прогнозування дисперсії часового ряду модель FIGARCH зводиться до моделі AR(∞) для квадратів процесу. Для знаходження коефіцієнтів авторегресії розв'язується редукована система Юла-Уокера. Регресійне рівняння для автокореляційної функції, що ґрунтується на означенні сильної залежності, використовується для знаходження оцінок автокореляції. Для уточнення оцінок автокореляційних коефіцієнтів запропоновано оптимізаційну процедуру.

Всі етапи системного підходу апробовано на часових рядах, що описують логарифмічну дохідність акцій фондових бірж.

Ключові слова: міри ризиків VaR і CVaR, сильна залежність, прогнозування дисперсії, моделювання автокореляційної функції, метод згладжування автокореляційної функції.

АННОТАЦИЯ

Зражевская Н.Г. Методы и модели мер прогнозирования динамических фондовых рисков. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.04 - системный анализ и теория оптимальных решений. - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, 2018.

Диссертационная работа заключается в разработке системного подхода к моделированию и прогнозированию мер динамических и статических рисков VaR и CVaR, которые являются самыми распространенными мерами, используемые при оценке финансовых рисков, прежде всего рисков фондовых бирж.

В рамках предложенного подхода проведен системный анализ современных существующих методов оценки мер VaR и CVaR для статических и динамических рисков, предложены процедуры принятия решения по выбору метода их оценивания. Результаты анализа сформулированы в виде классификационных схем, облегчающих специалисту выбор метода оценивания, который наиболее соответствует целям исследования и входным данным.

Поскольку финансовые временные ряды, как правило, волатильны и имеют свойство сильной зависимости, для моделирования и прогнозирования мер риска в работе предлагается новый метод - Метод Сглаживания Автокореляционной Функции.

Для оценивания мер динамических рисков используется модель: $VaR_{\alpha}^t = VaR_{\alpha}(Z)\sigma_t$, $CVaR_{\alpha}^t = CVaR_{\alpha}(Z)\sigma_t$, где σ_t - условная дисперсия ряда, $VaR_{\alpha}(Z)$, $CVaR_{\alpha}(Z)$ - статические меры рисков. Прогнозные значения мер рисков на P шагов

вперед могут быть найдены по экстраполяции модели: $VaR_{\alpha}^{t+P} = VaR_{\alpha}(Z)\sigma_{t+P}$, $CVaR_{\alpha}^{t+P} = CVaR_{\alpha}(Z)\sigma_{t+P}$.

Для моделирования и прогнозирования дисперсии в работе предложен новый метод на основе модели FIGARCH, которая сводится к модели AR(∞) для квадратов процесса. Для нахождения коэффициентов авторегрессии бесконечная система уравнений Юла-Уокера редуцируется. Особенность нового метода заключается в том, что в системе нормальных уравнений Юла-Уокера вместо коэффициентов корреляции, построенных по выборке, используются значения автокорреляционной функции (АКФ), найденные по предложенному в работе новому методу сглаживания АКФ на основе оптимизационной процедуры. Предложенный метод сглаживания АКФ основывается на регрессионном уравнении для АКФ, которое следует из определения сильной зависимости. Для уточнения коэффициентов уравнения и значения параметра сильной зависимости (параметра Херста) предложена оптимизационная процедура. Построенная по предложенному методу модель АКФ позволяет наиболее точно описать поведение АКФ для больших значений аргумента и, таким образом, получить оптимальную модель для прогнозирования. Найденные оценки дисперсии используются для нахождения мер статических рисков для остатков модели $VaR_{\alpha}(Z)$, $CVaR_{\alpha}(Z)$.

Построенная по МЗАКФ модель для мер динамических рисков используется для получения их прогнозных оценок. Для построения прогноза используется многошаговый (на P шагов вперед) метод прогнозирования, окно с накоплением. На окне прогнозирования используются прогнозные оценки дисперсии и найденные на области прогнозирования значения мер статических рисков, которые считаются неизменными на всем окне. Затем значение индекса временного ряда увеличивается на P и процедура повторяется необходимое количество раз. Таким образом, на каждом цикле применения алгоритма происходит учет новых данных и уточнение модели. Для анализа найденных прогнозных оценок полученные P -шаговые прогнозы объединяются в один.

Все этапы системного подхода апробированы на реальных финансовых временных рядах. В качестве данных рассматривались ряды логарифмической доходности на дневной основе фондовых индексов за период с 2005 по 2015 годы: Токийской фондовой биржи - Nikkei 225 Stock Index, Шанхайской фондовой биржи - CSI 300 Index ETF (CNY), американской биржи NASDAQ - индекс Nasdaq-100, и фондовой биржи «Российская Торговая Система». Для полученных прогнозных значений на основе процедуры бэктеста проведен количественный анализ (вычислялись ошибки ME, MAE, MSE) и качественный анализ с использованием статистических тестов. Для анализа прогнозных оценок дисперсии использовался тест Диболда-Мариано, для VaR - оценок - тесты Купеца и Кристофферсена, для CVaR - оценок - V - тест. Дополнительно для анализа прогнозных VaR - оценок анализировалась статистика PoE. Результаты анализа подтвердили эффективность разработанного подхода. Предложенный системный подход был протестирован на реальных временных рядах, имеющих разную волатильность. Проведенные количественный и качественный анализы результатов показали, что несмотря на

разную волатильность входных данных, качество прогнозов практически одинаково. Таким образом, подтверждена эффективность разработанного подхода для построения прогнозов мер динамических рисков для временных рядов в широком диапазоне волатильности.

Ключевые слова: меры рисков VaR и CVaR, сильная зависимость, прогнозирование дисперсии, моделирование автокорреляционной функции, метод сглаживания автокорреляционной функции.

SUMMARY

Zrazhevskia N.G. Methods and models of dynamic stock risk forecasting. - The manuscript.

Thesis for a candidate degree in specialty 01.05.04 - system analysis and the theory of optimal solutions. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2018.

The thesis is the development of a systematic approach for obtaining the forecast estimates of risk measures VaR and CVaR, the popular measures in assessing of financial risks, primarily stock market risks. In the framework of the proposed approach, a systematic analysis of current methods for VaR and CVaR evaluating is carried out, the results of the analysis are formulated in the form of classification schemes. To take into account the properties of volatility and long range dependence, which are typical for financial series, a new method of smoothing of the autocorrelation function is proposed. For volatility forecasting FIGARCH model is reduced to the AR model of infinite order for the squares of the process. The reduced system of Yule-Walker equations is solved to find the autoregression coefficients. The regression equation for the autocorrelation function based on the definition of the long-range dependence is used to get the autocorrelation estimates. An optimization procedure is proposed to specify the estimates of autocorrelation coefficients. All stages of the system approach are applied to the time series of the indeces of the various stock exchanges.

Keywords: risk measures VaR and CVaR, long range dependence, volatility forecasting, autocorrelation function modeling, method of the autocorrelation function smoothing.